第 37 卷第 6 期 2017 年 3 月
生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.6 Mar.,2017

DOI: **10.5846/stxb201510272171**
申时才, 徐高峰, 张付斗, 金桂梅, 刘树芳, 杨艳鲜, 张玉华.红薯叶片浸提液对 5 种主要农田杂草种子萌发及幼苗生长的化感作用.生态学报, 2017,37(6):1931-1938.
Shen S C, Xu G F, Zhang F D, Jin G M, Liu S F, Yang Y X, Zhang Y H. Allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on five major farming weeds. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(6): 1931-1938.

红薯叶片浸提液对 5 种主要农田杂草种子萌发及幼苗生长的化感作用

申时才, 徐高峰, 张付斗*, 金桂梅, 刘树芳, 杨艳鲜, 张玉华
云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明　650205

摘要:以发芽率、发芽势、根长、茎长和鲜重变化为种子萌发和幼苗生长参数,研究了作物红薯叶片水浸液对云南省农田 5 种恶性杂草牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草的化感作用。结果表明,红薯叶片水浸液对 5 种受体杂草种子发芽率的影响不明显,但对发芽势有显著抑制作用。牛膝菊、藿香蓟、鬼针草和马唐的根长和生物量随红薯叶片水浸液浓度增加而显著降低,其中对马唐的抑制最强,高浓度 0.1 g/mL 时对根长和生物量抑制率分别为 92.04% 和 73.33%,而低浓度 0.0125 g/mL 时分别为 40.99% 和 46.67%;其次为鬼针草、藿香蓟、牛膝菊;最差的是稗草,随浓度的变化趋势均不明显。随红薯叶片水浸液浓度增加牛膝菊、鬼针草和马唐的茎长显著地降低,其中对马唐的抑制最强,高浓度 0.1 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时分别为 86.85% 和 70.64%;其次为鬼针草和牛膝菊;相反藿香蓟和稗草的茎长随浓度增加而显著增加,高浓度 0.1 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时对藿香蓟的促进率分别为 86.97% 和 16.03%。红薯叶片水浸液低浓度 0.0125 g/mL 时对牛膝菊的茎长和生物量有促进作用(低促高抑)。从化感作用响应指数和综合效应指数的综合对比来看,红薯对牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐具有显著的化感抑制作用,随浓度增加其抑制能力显著增加;其中对马唐的为最强,其次为鬼针草、牛膝菊和藿香蓟,相反对稗草具有促进作用(除了浓度 0.1 g/mL)。所有这些表明,红薯叶片水浸液对 5 种杂草化感作用的敏感性趋势总体为:马唐>鬼针草>牛膝菊>藿香蓟,最不敏感或者具有促进作用的是稗草。
关键词:红薯;化感作用;恶性杂草;抑制率;化感指数

Allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on five major farming weeds

SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou*, JIN Guimei, LIU Shufang, YANG Yanxian, ZHANG Yuhua
Agricultural Environment and Resource Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, *China*

Abstract: The allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on seed germination and seedling growth of five noxious farming weeds (*Galinsoga parviflora*, *Ageratum conyzoides*, *Bidens pilosa*, *Digitaria sanguinalis*, and *Echinochloa crusgalli*) in the Yunnan Province, China were examined in the laboratory. Effects were based on seed germination rate, seed germination vigor, root length, stem length, and fresh biomass. The results showed that the seed germination vigor of the five weeds was markedly suppressed by water extracts of sweet potato leaf, but seed germination rates were less influenced. Root length and fresh biomass of *G. parviflora*, *A. conyzoides*, *B. pilosa*, and *D. sanguinalis* were significantly reduced with increasing concentration of water extracts of sweet potato leaf, and *D. sanguinalis* was the most inhibited, with suppression rates of 92.04% (length) and 73.33% (biomass) at a

基金项目:云南省科技创新人才计划资助项目(2014HB039); 云南省对外科技合作计划资助项目(2014IA009)
收稿日期:2015-10-27;　　**网络出版日期**:2016-08-02
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: fdzh@ vip.sina.com

concentration of 0.1 g/mL, 40.99% (length) and 46.67% (biomass) at a concentration of 0.0125 g/mL. The next most suppressed species were *B. pilosa*, *A. conyzoides* and *G. parviflora*; and the least suppressed was *E. crusgalli*. With increasing concentration of water extracts of sweet potato leaf, stem length of *G. parviflora*, *B. pilosa* and *D. sanguinalis* was significantly decreased. The highest inhibition was for *D. sanguinalis*, consisting of 86.85% and 70.64% at concentrations of 0.1 g/mL and 0.0125 g/mL, respectively, followed by *B. pilosa* and *G. parviflora*. However, the stem length of *A. conyzoides* and *E. crusgalli* was significantly increased with concentration increases in water extracts of sweet potato leaf, and for *A. conyzoides* rates of promotion were 86.97% and 16.03% at concentrations 0.1 g/mL and 0.0125 g/mL, respectively. For stem length and biomass of *G. parviflora*, the water extracts of sweet potato leaf showed a "low-promotion and high-inhibition effect" at a concentration of 0.0125 g/mL water extracts of sweet potato leaf. Generally, compared to combination of response index and synthetical allelopathic index, *G. parviflora*, *A. conyzoides*, *B. pilosa*, and *D. sanguinalis* were significantly inhibited with increasing concentration of water extracts of sweet potato leaf, and *D. sanguinalis* had the strongest inhibition, followed by *B. pilosa*, *G. parviflora* and *A. conyzoides*, however *E. crusgalli* exhibited positive effects (except at a 0.1 g/mLconcentration). Thus the sensitivity of five weeds to the allelopathic effects of sweet potato is in the order of *D. sanguinalis*>*B. pilosa*>*G. parviflora*>*A. conyzoides*>*E. crusgalli* from highest to lowest allelopathic sensitivity.

Key Words: Sweet potato (*Ipomoea batatas*); allelopathy; noxious weeds; suppression rate; allelopathic index

农田杂草是影响农业生产的重要因素之一,其可通过肥、光、空间等的竞争而严重影响农作物产量与品质[1-3]。据杨健源和杨贤智[4]报道,我国农田草害面积约为0.43亿 hm^2,严重受害面积约0.1亿 hm^2, 每年因草害损失粮食1750万t。近年来,我国农业生产普遍通过施用化学除草剂来实现对杂草的治理,较好地控制了杂草的危害,但化学除草剂持续使用引发的杂草抗药性、环境污染、除草剂药害等一系列相关问题已逐步显现,给农作物安全生产构成威胁[5-7]。单一依赖化学手段防除杂草显然不利于农业的可持续发展,如何实现农田少用或不用除草剂的条件下有效并可持续控制农田杂草,已成为国内外杂草科学工作者追求的目标。

为了促进农业的可持续生产,作为一个环境友好型的杂草生态控制方法,植物化感作用(Allelopathy)受到了国际社会的广泛关注与探讨。植物的化感作用是指一种植物或微生物(供体)通过向环境释放某些化学物质从而影响其他有机体生长和发育的化学生态学现象,广泛存在于自然界中,包括促进和抑制两方面作用[8]。化感作用具有安全、持久的效果,因此成为国际上生态防治研究的热点之一。在农业生产中,如果能发掘一种作物既具有较高的经济价值,又对农田杂草具有良好的化感作用潜力,那对促进可持续农业的发展和实施农田杂草的生态管理具有重要的意义。

红薯属旋花科的一年或多年生藤本植物, 以匍匐生长为主, 是我国重要的粮食作物之一。红薯以无性繁殖为主,生长速度快,覆盖能力强,在与其他作物和杂草共同生长时通常具有明显的优势。申时才等[9-10]研究表明红薯对世界恶性入侵植物薇甘菊具有很强的竞争优势。张勇等[11]报道红薯种植农田的杂草种类,发现不同红薯营养生长期的杂草种类有明显差异。申时才等[12]开展红薯对农田杂草群落和生物多样性的影响研究表明,红薯能显著降低农田恶性杂草藿香蓟、鬼针草、牛膝菊、牛筋草、马齿苋、马唐、铁苋菜和稗草等的密度和重要值,从而改变农田杂草的群落结构, 有利于限制优势杂草和入侵恶性杂草的发生与危害。目前,红薯对农田杂草的有效控制,究竟是由于其较强的竞争能力,或化感作用,还是竞争与化感共同作用造成呢?

在前期研究的基础上,本文利用云南省本地农作物红薯对农田上的主要恶性杂草牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草的化感作用进行研究,进一步探索红薯对农田杂草和群落的控制机理,以期为广泛开展农田杂草的生态管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试红薯品种:红薯(*Ipomoea batas*)为云南省德宏州村民长期种植的本地品种,也是当地主要的粮食作

物品种之一。由于其块根颜色为紫色,因此又名紫红薯。2010 年从云南省德宏州陇川县收集后一直种植于云南省农业科学院农业环境资源研究所昆明温室(102°58′E,25°32′N,海拔 1 957 m)。

供试杂草:牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)、藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)和稗草(*Echinochloa crusgalli*)为云南省部分主要的农田恶性杂草种类,对玉米、蔬菜、甘蔗、香料、水稻等作物造成了严重的危害,2014 年在云南省各主要分布区采集相关的种子。

1.2　试验方法

1.2.1　红薯浸提液制取

采集温室里生长良好的红薯叶片 50 g,剪碎后放入 3 倍的蒸馏水中浸提 48 h,二次过滤后,浸提液定溶至质量浓度为 0.1 g/mL(以鲜叶质量计算)。取部分浸提液分别稀释至质量浓度为 0.1、0.05、0.025、0.0125 g/mL(以鲜叶质量计算)。调节各浓度浸提液 pH 值与蒸馏水一致(pH=6.58),冷藏(4 ℃)备用。

1.2.2　红薯对受体杂草化感潜力测定

选取上一年饱满的和前期预实验种子萌发良好的牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草种子,用 10%的次氯酸钠溶液浸泡 10 min,蒸馏水漂洗 3 次,晾干备用。2015 年 6 月 10 日,吸取 10 mL 上述浓度的浸提液加入放有双层滤纸铺的直径为 9 cm 培养皿中,每皿均匀放置 30 粒已消毒的牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草种子,以蒸馏水为对照,每种杂草设 4 个重复。将培养皿置于人工气候箱中恒温培养,温度(28±0.5)℃、湿度 70%、每天光照 12 h。2015 年 6 月 12 日开始统计发芽种子数,所有试验总萌发时间为 7 d,6 月 16 日测量株高、根长和生物量。每个培养皿随机选择抽取 10 株测量,取平均值。

1.3　数据处理

供试材料红薯叶片水浸液对牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草的生物测定统计采用发芽率、发芽指数、化感作用响应指数等。发芽率(GR)=(发芽种子数/供试种子总数)×100%,发芽指数(GI)= $\sum(G_t/D_t)$(G_t:在 t 天内的发芽数,D_t:第 t 天)[13]。

采用化感作用响应指数(response index,RI)度量化感作用的类型和强度[14],计算公式为:当 $T \geq C$ 时,$RI = 1 - C/T$;当 $T<C$ 时,$RI = T/C - 1$。其中:C 为对照值,T 为处理值。$RI>0$ 为促进作用,$RI<0$ 为抑制作用,绝对值的大小与化感作用强度一致。化感综合效应(SE)用供体对同一受体发芽率、发芽势、株高、根长和生物量等 5 个测试项目 RI 的算术平均值进行评价。

所有数据采用 DPS v9.01 版软件进行分析, 并采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验,Duncan 's 新复极差法进行多重比较,分析不同处理间的差异。

2　结果

2.1　红薯叶片水浸液对种子萌发的影响

研究结果表明,红薯叶片水浸液对 5 种受体杂草种子发芽率的影响并不明显。5 种杂草均具有比较高的种子发芽率,除了藿香蓟和马唐种子的发芽率在红薯叶片水浸液浓度 0.025 g/mL 和 0.1 g/mL 时分别为 89.17%和 88.33%外,其余均为 90%以上。其中,鬼针草具有最高的发芽率,发芽率为 95.84%—100.00%,而牛膝菊的种子发芽率相对是最低的(表 1)。牛膝菊种子发芽率随红薯叶片水浸液浓度增加其逐渐降低,但各处理间不显著。藿香蓟种子发芽率在红薯叶片水浸液高浓度 0.1 g/mL 时最大为 98.34%,但中低等浓度时与对照的差异不显著。鬼针草和稗草种子的发芽率随红薯叶片水浸液浓度的增高而逐渐降低,在高浓度 0.1 g/mL 时抑制率达到显著;马唐种子的发芽率随红薯叶片水浸液浓度的增高而逐渐降低,在高浓度 0.05—0.1 g/mL 时抑制率达到显著(表 1)。

与种子发芽率相比,红薯叶片水浸液对 5 种杂草种子的发芽势影响比较明显(表 2)。随红薯叶片水浸液浓度的增加,5 种受体杂草牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草的发芽势逐渐降低,牛膝菊高浓度 0.05—0.1 g/mL 时显著低于其他处理,而藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草种子的发芽势随浓度增加而显著降低(表 2)。

表 1 红薯叶片水浸液对不同供试杂草种子发芽率的影响(平均值±标准差)

Table 1 Effects of water extract of sweet potato on germination rate of different weeds (mean±SD)

浓度 Concentration/(g/mL)	受体 Acceptor				
	牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	鬼针草 *Bidens pilosa*	马唐 *Digitaria sanguinalis*	稗草 *Echinochloa crusgalli*
0.1	90.83±5.69a	98.34±1.92a	95.84±4.20b	88.33±3.34b	91.68±3.35b
0.05	91.01±4.31a	90.83±3.19bc	99.17±1.67a	90.00±0.00b	96.67±4.71a
0.025	93.34±2.74a	89.17±7.39c	100.00±0.00a	96.67±4.71a	98.33±1.92a
0.0125	93.33±4.71a	91.67±4.30abc	100.00±0.00a	97.50±3.19a	98.34±1.92a
CK	94.17±4.20a	96.67±2.72ab	100.00±0.00a	100.00±0.00a	98.33±1.92a

同一列不同字母表示差异显著,显著水平为 5%

表 2 红薯叶片水浸液对不同供试杂草种子发芽势的影响(平均值±标准差)

Table 2 Effects of water extract of sweet potato on germination vigor of different weeds (mean±SD)

浓度 Concentration/(g/mL)	受体 Acceptor				
	牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	鬼针草 *Bidens pilosa*	马唐 *Digitaria sanguinalis*	稗草 *Echinochloa crusgalli*
0.1	7.13±0.29b	7.19±0.34e	7.65±0.46c	5.81±0.10d	6.01±0.14c
0.05	7.33±0.36b	8.00±0.12d	8.45±0.39b	6.73±0.25c	6.27±0.20b
0.025	8.73±0.12a	8.54±0.08c	9.11±0.39a	8.23±0.27b	6.44±0.30b
0.0125	8.68±0.11a	9.94±0.16a	9.36±0.11a	8.36±0.32b	6.90±0.13a
CK	8.68±0.07a	9.21±0.08b	9.50±0.20a	9.04±0.11a	6.81±0.18a

2.2 红薯叶片水浸液对幼苗生长的影响

表 3 中的结果表明,红薯叶片水浸液对 5 种受体杂草的幼苗生长具有明显的影响。在根长方面,牛膝菊、藿香蓟、鬼针草和马唐根长随红薯叶片水浸液浓度增加而显著降低,其中抑制率最高的为马唐,在高浓度 0.1 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时分别为 92.04%和 40.99%,接下来依次为藿香蓟、鬼针草、牛膝菊(表 3)。红薯叶片水浸液在高浓度 0.1 g/mL 和较低浓度 0.025 g/mL 对稗草根长具有显著的抑制作用,但在浓度 0.05 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时具有促进作用,因此变化规律并不明显。

表 3 红薯叶片水浸液对不同供试杂草根长、茎长和生物量的影响(平均值±标准差)

Table 3 Effects of water extract of sweet potato on root length, stem length and biomass of different weeds (mean±SD)

	浓度 Concentration/(g/mL)	受体 Acceptor				
		牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	鬼针草 *Bidens pilosa*	马唐 *Digitaria sanguinalis*	稗草 *Echinochloa crusgalli*
根长/cm	0.1	0.985±0.051d	0.303±0.022e	1.005±0.060e	0.240±0.026e	1.728±0.036d
Root length	0.05	2.225±0.134c	0.648±0.033d	2.040±0.043d	0.298±0.022d	3.033±0.051b
	0.025	3.680±0.104b	0.895±0.027c	2.420±0.033c	0.920±0.029c	2.815±0.072c
	0.0125	3.905±0.055a	1.183±0.034b	2.918±0.081b	1.778±0.028b	3.253±0.083a
	CK	3.935±0.068a	2.340±0.102a	3.585±0.033a	3.013±0.054a	2.838±0.021c
茎长/cm	0.1	1.248±0.026b	0.875±0.031a	2.733±0.034d	0.215±0.017e	3.713±0.033a
Stem length	0.05	1.275±0.031ab	0.703±0.030b	3.073±0.120c	0.293±0.028d	3.770±0.050a
	0.025	1.290±0.029ab	0.693±0.028b	3.310±0.088b	0.355±0.013c	3.723±0.034b
	0.0125	1.318±0.050a	0.543±0.044c	3.365±0.084b	0.480±0.025b	3.540±0.035b
	CK	1.295±0.024ab	0.468±0.013d	3.535±0.060a	1.635±0.021a	3.273±0.046c
生物量/g	0.1	0.083±0.004e	0.012±0.001e	0.085±0.002d	0.016±0.001e	0.131±0.004c
Biomass	0.05	0.122±0.007d	0.018±0.002d	0.114±0.005c	0.020±0.001d	0.145±0.003ab
	0.025	0.138±0.001c	0.019±0.001c	0.128±0.001b	0.024±0.001c	0.141±0.002b
	0.0125	0.158±0.005a	0.021±0.002b	0.130±0.002b	0.032±0.002b	0.149±0.002a
	CK	0.152±0.001b	0.026±0.001a	0.145±0.002a	0.060±0.002a	0.143±0.003b

在茎长方面,牛膝菊、鬼针草和马唐茎长随红薯叶片水浸液浓度增加而显著降低,其中对马唐的抑制为最强,在高浓度 0.1 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时分别为 86.85%和 70.64%,且随浓度增加而显著增强。其次为鬼针草和牛膝菊,除了在低浓度 0.0125 g/mL 时对牛膝菊茎长具有促进作用(低促高抑)外,其余均为抑制作用,且随浓度的增加而抑制率显著增加。相反,藿香蓟和稗草的茎长随红薯叶片水浸液浓度增加而显著增强,其中对藿香蓟的促进作用为最强,在高浓度 0.1 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时促进率分别为 86.97%和 16.03%(表 3)。

生物量方面,牛膝菊、藿香蓟、鬼针草和马唐生物量随红薯叶片水浸液浓度增加而显著降低,其中对马唐的抑制为最强,在高浓度 0.1 g/mL 和低浓度 0.0125 g/mL 时分别为 73.33%和 46.67%,且随浓度增加而显著增强。其次为鬼针草、牛膝菊和藿香蓟,除了在低浓度 0.0125 g/mL 时对牛膝菊生物量具有促进作用(低促高抑)外,其余均为抑制作用,且随浓度的增加而抑制作用显著增加。红薯叶片水浸液对稗草生物量同时具有抑制和促进作用,因此变化规律并不明显(表 3)。

从 5 种受体杂草根长、茎长和生物量的影响对比看,红薯叶片水浸液对马唐根长的抑制率最高,其次为茎长,最后为生物量。对鬼针草、牛膝菊、藿香蓟和稗草的抑制率,均为根长抑制率最高,其次为生物量,最差的为茎长。

2.3　红薯的化感响应指数

研究结果表明,红薯叶片水浸液对 5 种受体杂草具有不同的化感作用响应指数(表 4)。红薯叶片水浸液

表 4　红薯对不同供试杂草的化感响应指数(平均值±标准差)

Table 4　Response index of sweet potato on different weeds (mean±SD)

	浓度 Concentration/(g/mL)	受体 Acceptor				
		牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	鬼针草 *Bidens pilosa*	马唐 *Digitaria sanguinalis*	稗草 *Echinochloa crusgalli*
发芽率	0.1	−0.033±0.096a	0.018±0.036a	−0.042±0.042b	−0.117±0.033b	−0.068±0.027b
Germination rate	0.05	−0.012±0.062a	−0.060±0.032b	−0.008±0.017ab	−0.100±0.000b	−0.017±0.044a
	0.025	−0.008±0.043a	−0.078±0.059b	0.000±0.000a	−0.033±0.047a	0.000±0.028a
	0.0125	−0.007±0.071a	−0.052±0.035b	0.000±0.000a	−0.025±0.032a	0.000±0.028a
发芽势	0.1	−0.178±0.029b	−0.220±0.030d	−0.194±0.046c	−0.357±0.005c	−0.051±0.042ab
Germination vigor	0.05	−0.018±0.035a	−0.131±0.016c	−0.110±0.050b	−0.255±0.029b	−0.079±0.047b
	0.025	0.006±0.022a	−0.072±0.016b	−0.041±0.030a	−0.090±0.026a	−0.054±0.061ab
	0.0125	0.000±0.010a	0.079±0.026a	−0.014±0.030a	−0.075±0.045a	0.013±0.030a
根长	0.1	−0.750±0.010b	−0.871±0.012d	−0.720±0.015d	−0.920±0.009d	−0.391±0.009d
Root length	0.05	−0.694±0.226b	−0.723±0.024c	−0.431±0.014c	−0.901±0.006c	0.069±0.021b
	0.025	−0.065±0.034a	−0.617±0.017b	−0.325±0.011b	−0.695±0.013b	−0.008±0.026c
	0.0125	−0.008±0.018a	−0.494±0.033a	−0.186±0.027a	−0.410±0.014a	0.146±0.026a
茎长	0.1	−0.037±0.017c	0.874±0.111a	−0.227±0.015c	−0.869±0.011d	0.135±0.025a
Stem length	0.05	−0.015±0.026bc	0.505±0.105b	−0.131±0.040b	−0.821±0.015c	0.152±0.007a
	0.025	−0.004±0.008ab	0.483±0.096c	−0.064±0.016a	−0.783±0.009b	0.138±0.021a
	0.0125	0.017±0.021a	0.160±0.076d	−0.048±0.033a	−0.706±0.014a	0.082±0.015b
生物量	0.1	−0.453±0.027d	−0.548±0.046c	−0.415±0.022c	−0.738±0.022c	−0.080±0.037c
Biomass	0.05	−0.247±0.077c	−0.308±0.106b	−0.211±0.040b	−0.668±0.019b	0.014±0.024ab
	0.025	−0.092±0.005b	−0.271±0.064ab	−0.112±0.016a	−0.606±0.023a	−0.010±0.029b
	0.0125	0.043±0.027a	−0.172±0.095a	−0.100±0.007a	−0.468±0.049a	0.040±0.014a
综合效应指数	0.1	−0.290±0.029d	−0.149±0.026b	−0.320±0.014d	−0.600±0.009d	−0.091±0.013c
Synthetical	0.05	−0.185±0.034c	−0.144±0.023b	−0.178±0.012c	−0.549±0.012c	0.028±0.011b
allelopathic index	0.025	−0.032±0.011b	−0.111±0.027a	−0.109±0.012b	−0.441±0.011b	0.013±0.021b
	0.0125	0.009±0.020a	−0.096±0.021a	−0.070±0.007a	−0.337±0.021a	0.056±0.008a

对 5 种杂草发芽率的化感响应指数在绝大多数处理间并不显著,而对发芽势的化感响应指数除了牛膝菊和稗草不显著外,随红薯叶片水浸液浓度增加藿香蓟、鬼针草和马唐的化感响应指数显著降低而具有显著的抑制作用。在根长方面,除了对稗草化感响应指数影响规律不明显外,随红薯叶片水浸液浓度增加牛膝菊、藿香蓟、鬼针草和马唐的化感响应指数显著降低而具有显著的抑制作用。牛膝菊(除了浓度 0.0125 g/mL)、鬼针草和马唐茎长的化感响应指数随红薯叶片水浸液浓度增加而显著降低而具有显著的抑制作用,而藿香蓟和稗草茎长的化感响应指数随红薯叶片水浸液浓度增加而显著增加而具有明显的促进作用。在生物量方面,牛膝菊(除了浓度 0.0125 g/mL 有促进作用)、藿香蓟、鬼针草和马唐的化感响应指数随红薯叶片水浸液浓度增加显著降低而具有显著的抑制作用,而稗草的化感响应指数变化规律不明显。

从 5 种受体杂草发芽率、发芽势、根长、茎长和生物量化感响应指数的综合对比来看,牛膝菊(除了浓度 0.0125 g/mL)、藿香蓟、鬼针草和马唐的所有化感综合效应指数受到红薯的明显抑制而为负值,随红薯叶片水浸液浓度增加其化感强度显著地提高。其中,红薯对马唐的化感作用为最强,化感综合效应指数在叶片水浸液高浓度 0.1 g/mL 达到最大为-0.600,在低浓度 0.0125 g/mL 时最低为-0.337,且随浓度的增加而显著增强。其次为鬼针草、牛膝菊和藿香蓟,所有处理中随红薯水浸液浓度增加其化感综合效应指数显著增加。最差的为稗草,其化感综合效应指数变化趋势不规律,只有在高浓度 0.1 g/mL 具有抑制作用,其余浓度均具有促进作用(表 4)。所有这些表明,红薯对牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐具有显著的化感作用,相反对稗草具有促进作用。

3　讨论

化感物质可通过作用于植物的不同生长发育阶段而对植物产生影响,如影响种子的萌发、幼苗的生长、成株的开花结实等,最终导致植物种群被抑制[5, 7, 13, 15]。本研究表明,红薯叶片水浸液对牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草种子萌发没有明显的抑制作用,但对种子的发芽势影响比较显著(表 1),能明显延缓这些种子的萌发。红薯叶片水浸液对 4 种受体杂草牛膝菊、藿香蓟(除了茎长)、鬼针草、马唐幼苗根的生长、茎长和生物量均有显著的抑制作用,且随浓度增加而显著增强,但对稗草幼苗根的生长和生物量的影响趋势并不规律。种子萌发对物种更新至关重要,发芽速度降低可能会降低植物在群落中的丰富度。种子发芽势降低,发芽时间延长,出苗延后,将严重影响植物对地上和地下资源的竞争能力[15-19]。化感物质对根生长的抑制导致植株根系变小、吸水、吸肥能力降低,降低其对资源的有效利用,进而直接影响该物种以后的生长发育及其在群落中的地位和作用。

化感作用响应指数是用于度量化感作用的类型和强度的[14],其中对受体植物根长和生物量的影响是衡量化感作用强度普遍使用和最重要的指标,同时化感综合效应指数也是用于综合衡量植物化感作用强度的重要指标之一[14, 19, 21, 24]。本研究中,红薯叶片水浸液除了对稗草的化感响应指数影响不明显外,对牛膝菊、藿香蓟、鬼针草和马唐的化感响应指数影响明显,且随红薯叶片水浸液浓度增加而显著降低,表明红薯对这 4 种杂草具有显著的化感抑制作用。此外,为了综合评价红薯对 5 种杂草的化感作用,本研究中采用了受体杂草的发芽率、发芽势、根长、茎长和生物量等 5 个参数求平均的化感综合指数。从化感综合效应指数对比来看,红薯对马唐的化感抑制作用最强;其次为鬼针草和牛膝菊;再次为藿香蓟,尽管红薯叶片水浸液对其茎长具有显著的促进作用,但其化感综合效应指数表明其具有较高抑制作用。最差的为稗草,其化感综合效应指数变化趋势不规律,只有在高浓度 0.1 g/mL 具有抑制作用,其余浓度均具有促进作用(表 4)。所有这些表明,红薯对牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐具有显著的化感抑制作用,相反对稗草具有促进作用。5 种受体杂草对红薯化感抑制作用的敏感性趋势总体为:马唐>鬼针草>牛膝菊>藿香蓟,最不敏感或者具有促进作用的是稗草。目前,已有一些研究表明红薯对其他植物具有一定的化感作用。徐高峰等[20]开展 5 种植物对薇甘菊化感作用研究表明,红薯对入侵植物薇甘菊幼苗的根长、茎长具有明显的抑制效果,抑制能力随红薯浓度的增加而逐渐增强。此外,红薯对一些杂草和农作物,如白茅、莴苣、黄瓜、莎草、紫花苜蓿、豇豆等也具有一定的化感

效应[21-24]。

在农业生产系统中,牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐和稗草通常为农田上的主要杂草,牛膝菊、藿香蓟和鬼针草为入侵性杂草,而马唐和稗草则为本地恶性杂草[25-26]。5 种杂草通常具有种子数量大、种子萌发率高、生长速度快、化感作用等特征[26-28],因此容易形成单一杂草群落或成为优势种群,从而对农作物蔬菜、玉米、甘蔗、水稻等造成严重的危害。本研究中的作物红薯以无性繁殖为主、生长速度快、覆盖能力强,在与其他作物和杂草共同生长时通常具有明显的优势。张勇等[11]报道红薯种植农田的杂草种类,发现不同红薯营养生长期的杂草种类有明显差异。申时才等[12]开展红薯对农田杂草群落和生物多样性的影响研究表明,红薯能显著降低农田恶性杂草藿香蓟、鬼针草、牛膝菊、牛筋草、马齿苋、马唐、铁苋菜和稗草等的密度和重要值。通常,作物对杂草的抑制主要是受物种之间的竞争、化感或二者共同决定[7, 17, 29]。因此,红薯对农田杂草群落的改变和对恶性杂草的良好控制,也可能同时受到竞争和化感的影响。申时才等[9-10]研究已经表明红薯具有很强的竞争力,通过匍匐、宽大叶面来覆盖和遮光而降低其他杂草的光合作用,具有大量的茎节不定根而形成较强的土壤养分和水资源竞争优势。另一方面,本研究也表明红薯叶片水浸液对牛膝菊、藿香蓟(除了茎长)、鬼针草、马唐的发芽势、根长、茎长和生物量具有显著的抑制作用,但对稗草根长、茎长和生物量具有一定的促进作用。所有这些说明在红薯田杂草中,红薯通过自身较强的竞争能力和化感作用抑制一些主要的农田杂草,而对稗草的抑制可能主要以竞争作用为主。

综上所述,红薯对旱地农田杂草牛膝菊、藿香蓟、鬼针草、马唐具有显著的化感抑制作用,但对稗草的化感作用并不明显。为了进一步确定红薯的化感作用,今后需对相关的化感物质进行鉴定,并对其作用机理进行研究,以便为红薯进行大面积的田间杂草替代利用和管理提供更加全面和深入的理论基础。

致谢:感谢加拿大西三一大学(Trinity Western University, Canada)生物学系 David Roy Clements 博士对英文摘要的润色。

参考文献(References):

[1] Chauhan B S, Johnson D E. Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. Field Crops Research, 2011, 121(2): 226-231.

[2] 李儒海, 强胜, 邱多生, 储秋华, 潘根兴. 长期不同施肥方式对稻油两熟制油菜田杂草群落多样性的影响. 生物多样性, 2008, 16(2): 118-125.

[3] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 金桂梅, 李天林, 张玉华. 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5523-5530.

[4] 杨健源, 杨贤智. 我国杂草科学的研究与应用进展. 广东农业科学, 1998, (5): 26-29.

[5] Duke S O. Weeding with allelochemicals and allelopathy-a commentary. Pest Management Science, 2007, 63(4): 307-307.

[6] Bastiaans L, Paolini R, Baumann D T. Focus on ecological weed management: what is hindering adoption?. Weed Research, 2008, 48(6): 481-591.

[7] Kong C H, Li H B, Hu F, Xu X H, Wang P. Allelochemicals released by rice roots and residues in soil. Plant and Soil, 2006, 288(1/2): 47-56.

[8] Rice E L. Allelopathy. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984.

[9] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 李天林, 张玉华. 红薯对薇甘菊的竞争效应. 生态学杂志, 2012, 31(4): 850-855.

[10] Shen S C, Xu G F, Clements D R, Jin G M, Chen A D, Zhang F D, Kato-Noguchi H. Suppression of the invasive plant mile-a-minute (*Mikania micrantha*) by local crop sweet potato (*Ipomoea batatas*) by means of higher growth rate and competition for soil nutrients. BMC Ecology, 2015, 15: 1-1.

[11] 张勇, 刘震, 路兴涛, 张成玲, 张田田, 马士仲. 山东省泰安市甘薯田杂草调查. 杂草科学, 2012, 30(2): 43-55.

[12] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 金桂梅, 张玉华. 红薯对农田杂草群落及其多样性的影响. 生物多样性, 2014, 22(4): 485-591.

[13] 张茂新, 凌冰, 孔垂华, 赵辉, 庞雄飞. 薇甘菊挥发油的化感潜力. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1300-1302.

[14] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.

[15] Turk M A, Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). Crop Protection, 2003, 22(4): 673-677.

[16] Ross M A, Harper J L. Occupation of biological space during seedling establishment. Journal of Ecology, 1972, 60(1): 77-88.

[17] Fowler N. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. Annual Review of Ecology and Systematics, 1986, 17: 89-110.

[18] 曹光球, 林思祖, 胡宗庆, 王爱萍, 彭亦如. 马尾松叶生化物质的生物检测与物质鉴定. 西北植物学报, 2006, 26(4): 811-818.

[19] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响. 生态学报, 2005, 25(10): 2782-2787.

[20] 徐高峰, 张付斗, 李天林, 张云, 张玉华. 5 种植物对薇甘菊化感作用研究. 西南农业学报, 2009, 22(5): 1439-1443.

[21] Harrison J R H F, Peterson J K. Allelopathic effects of sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) on yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) and alfalfa (*Medicago sativa*). Weed Science, 1986, 34(4): 623-627.

[22] Walker D W, Hubbell T J, Sedberry J E. Influence of decaying sweet potato crop residues on nutrient uptake of sweet potato plants. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1989, 26(1): 45-52.

[23] Chon S U, Boo H O. Difference in allelopathic potential as influenced by root periderm colour of sweet potato (*Ipomoea batatas*). Journal of Agronomy and Crop Science, 2005, 191(1): 75-80.

[24] Xuan T D, Toyama T, Khanh T D, Tawata S, Nakagoshi N. Allelopathic interference of sweet potato with cogongrass and relevant species. Plant Ecology, 2012, 213(12): 1955-1961.

[25] 申时才, 张付斗, 徐高峰, 李天林, 吴迪, 张玉华. 云南外来入侵农田杂草发生与危害特点. 西南农业学报, 2012, 25(2): 554-561.

[26] 吕建平, 谌爱东, 杨勤忠, 张付斗, 韩忠良. 云南省农作物有害生物发生分布及危害特点. 昆明: 云南教育出版社, 2015: 71-93.

[27] 董红云, 李亚, 汪庆, 姚淦, 夏冰. 外来入侵植物牛膝菊和野茼蒿水浸提液化感作用的生物测定. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2): 48-53, 91-91.

[28] 陈建军, 孔垂华, 胡飞, 谭中文, 梁计南. 胜红蓟化感作用研究 VIII.植株对花生和相关杂草的田间化感效应. 生态学报, 2002, 22(8): 1190-1195.

[29] Gealy D R, Wailes E J, Estorninos Jr L E, Chavez R S C. Rice cultivar differences in suppression of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and economics of reduced propanil rates. Weed Science, 2003, 51(4): 601-609.